

Experimentelle Untersuchung zur Frage der
quantitativen Szintigraphie der Schilddrüse

vorgelegt
von

Hans-Joachim Walde

1972



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554420_0015

Aus dem Institut für Klinische Strahlenkunde
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

(Direktor: Prof. Dr. med. L. Diethelm)

Experimentelle Untersuchung zur Frage der
quantitativen Szintigraphie der Schilddrüse

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde

der Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt
von

Hans-Joachim Walde
aus Glärsdorf/Schlesien

Mainz 1972

Dekan: Prof. Dr. Dr. Ketterl

Referent: Prof. Dr. Wolf

Korreferent: Prof. Dr. Diethelm

Tag der mündlichen Prüfung: 18.4.1972



gesamtherstellung
ditters bürodienst
mainz

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	1
Problemstellung	3
Meßmethodik	6
Meßergebnisse	10
Tabellen	16
Diskussion	24
Zusammenfassung	32
Literatur	33

Einleitung

Die Anwendung radioaktiver Substanzen zu diagnostischen Zwecken nimmt in der klinischen Routine einen immer größeren Raum ein. Von den verschiedenen nuklearmedizinischen Untersuchungsverfahren kommt einer Lokalisationsmethode, der sogenannten Szintigraphie, bei weitem die größte Bedeutung zu.

Die Szintigraphie unterscheidet sich von der röntgenologischen Darstellung dadurch, daß sich bei der letzteren die Strahlenquelle außerhalb des Körpers - in der Röntgenröhre - befindet, während bei der Szintigraphie die zur Abbildung benutzte Strahlung aus dem Körper des Patienten stammt. Die Strahlenquelle wird hier durch eine radioaktive Substanz gebildet, die sich in dem abzubildenden Organ befindet. Voraussetzung für eine szintigraphische Darstellung ist daher die Kenntnis eines Anreicherungs Vorganges, durch den nach Inkorporation einer radioaktiven Substanz ein Konzentrationsgefälle der Aktivität zwischen dem abzubildenden Organ und seiner Umgebung eintritt. Ferner muß das benutzte Radioisotop eine Gamma-Strahlung geeigneter Energie emittieren; außerdem darf die Inkorporation der Substanz nicht zu einer unzumutbar hohen Strahlenbelastung für den Patienten führen. Durch diese Bedingungen wird der Kreis der verwendbaren Radioisotope erheblich eingeschränkt.

Die Szintigraphie wird heute allgemein mit Hilfe der sog. "Scanning-Technik" durchgeführt. Ein für Gamma-Strahlung empfindlicher Detektor, ein Szintillationszähler, wird mit Hilfe eines Elektromotors kontinuierlich zeilenförmig in einer tangentialen Ebene zu dem Patienten über dem abzubildenden Organ hin und her geführt. Zur Erzeugung der Abbildung wird das Gesichtsfeld des Detektors durch einen sog. Kollimator so stark eingeeengt, daß der Szintillationszähler stets nur Strahlung aus einem relativ schmalen Bereich

des Organs erfaßt. Auf diese Weise wird das zu untersuchende Objekt nach und nach durch den Detektor quasi abgetastet (to scan = abtasten). Die in dem Detektor durch die einfallende Strahlung erzeugte Impulsrate wird synchron zu der Abtastbewegung in Form von Druckmarken auf Papier oder in unterschiedlicher Schwärzung auf einem Film aufgezeichnet. Auf diese Weise entsteht ein rasterförmiges Bild der Aktivitätsverteilung in dem untersuchten Gebiet - das Szintigramm.

Die Szintigraphie, wie sie routinemäßig durchgeführt wird, ist eine semiquantitative Methode. Das Auflösungsvermögen hängt neben dem Einfluß der statistischen Schwankung des radioaktiven Zerfalls auf das Meßergebnis stark von der Kollimation der Strahlung ab. Heute verwendet man allgemein fokussierende Kollimatoren mit einer großen Anzahl von Bohrungen. Dies hat zur Folge, daß Empfindlichkeit und Auflösungsvermögen des Systems eine Funktion des Abstandes zwischen Strahlenwelle und Detektor darstellen. Hinzu kommt noch der Einfluß der Absorption der Strahlung, die aus tiefer liegenden Gewebsschichten stammt. Es leuchtet ein, daß unter diesen Bedingungen eine quantitative Erfassung der Radioaktivität in den untersuchten Organen nicht ohne weiteres möglich ist. Eine Ausnahme bilden relativ dünne Organe, die oberflächennahe liegen, wie z.B. die Schilddrüse. Hier ist es denkbar, daß Auflösung und Nachweisempfindlichkeit eines Detektor-Kollimator-Systems innerhalb der Tiefe des Organs konstant gehalten werden können.

Zweck der vorliegenden Arbeit war es, an einem kommerziellen Szintigraphen die Möglichkeit einer quantitativen Szintigraphie der Schilddrüse experimentell zu untersuchen.

Problemstellung

Bei der szintigraphischen Darstellung sind zwei Parameter von entscheidendem Einfluß: Auflösungsvermögen und Empfindlichkeit. Beide Größen werden bei gegebener Energie der Gamma-Strahlung vor allem von der Kollimation, die Empfindlichkeit auch von der Kristallgröße des Detektors, beeinflußt.

Als Auflösungsvermögen wird in der Szintigraphie allgemein die Halbwertsbreite der sog. Linienquellenfunktion definiert. (2,3) Diese ist für die üblichen fokussierenden Kollimatoren mehr oder minder stark von der Entfernung zwischen Kollimator und Quelle abhängig und erreicht in der Fokuserfernung ein Optimum. (6,5) Die Empfindlichkeit für eine Punkt- oder Linienquelle ist ebenfalls eine Funktion des Abstandes und erreicht ihr Maximum bei fehlender Absorption gleichfalls im Bereich des Fokus. Unter der Einwirkung absorbierender Medien rückt dieses Maximum näher an die Kollimatoroberfläche heran. (5) Es ist leicht einzusehen, daß eine quantitative Erfassung der Radioaktivität unter diesen Umständen mit Hilfe der Szintigraphie nicht ohne weiteres möglich ist.

Das Problem der quantitativen Bestimmung der Radioaktivität in inneren Organen mit Hilfe der Szintigraphie (sog. "Area scanning") ist kürzlich von GLASS (4) behandelt worden. Als Forderungen für die quantitative Szintigraphie ergeben sich danach: Unabhängigkeit von Auflösungsvermögen und Empfindlichkeit über den gesamten Tiefenbereich des untersuchten Organs. Diese Forderungen können durch die Verwendung zweier Detektoren, die sich in einer Achse gegenüberstehen, und die Benutzung spezieller Kollimatoren, erfüllt werden. Für die routinemäßige Durchführung der quantitativen Szintigraphie mit Doppelkopfsclannern ist außerdem die Verwendung eines datenspeichernden und -verarbeitenden Systems ausreichender Kapazität notwendig.

Dieser Aufwand läßt sich bei der Untersuchung oberflächen-naher, relativ dünner Organe, wie z.B. der Schilddrüse bedeutend reduzieren, wie TAUXE (7) zeigen konnte. TAUXE verwandte für seine Untersuchungen einen kommerziellen Scanner in Verbindung mit einem schnellen digitalen Computer.

Wesentlich für die Möglichkeit, mit einem kommerziellen Scanner eine quantitative Szintigraphie der Schilddrüse durchzuführen, ist die Beantwortung der Frage, ob Kollimatoren mit geeigneten Charakteristika vorhanden sind. Aus früheren Untersuchungen (5) war bekannt, daß der für die Schilddrüsenszintigraphie mit ^{131}J verwendete Kollimator des von unserer Arbeitsgruppe benutzten kommerziellen Szintigraphiesystems im Fokusbereich eine ausreichend konstante Auflösung und bei der oberflächennahen Lage des Organs auch eine genügend konstante Empfindlichkeit über den Dickenbereich der Schilddrüse besaß. Die Größe des Auflösungsvermögens, das heißt, die Halbwertsbreite der Linienquellenfunktion, spielt für die Untersuchungen eine erhebliche Rolle, da hierdurch die untere Grenze für die Bereiche gegeben wird, die miteinander verglichen werden können.

Bezirke, die kleiner als die Auflösungsstrecke sind, lassen sich nicht mehr quantitativ erfassen. Dies ist bei der Erfassung von Bezirken erhöhter oder erniedrigter Aktivitätsspeicherung von großer Bedeutung. Außerdem ergibt sich hieraus die Notwendigkeit, stets einen Bezirk am Rande des Organs mit zu erfassen, da die Impulsrate hier nicht sofort auf Null absinkt, sondern erst in einer gewissen Entfernung vom Rande des Organs den Nulleffekt erreicht. Eines der Ziele der hier vorgelegten Untersuchung war es festzustellen, wie groß ein Bereich erhöhter oder erniedrigter Speicherung innerhalb des Szintigramms sein muß, um noch nachgewiesen werden zu können.

Eine weitere Voraussetzung für die quantitative Szintigraphie ist die Konstanz der Empfindlichkeit des Detektor-Kollimatorsystems über die Tiefenausdehnung des untersuchten Organs. In-

folge der Konstruktionsmerkmale eines fokussierenden Kollimators nimmt die Empfindlichkeit für eine Punktquelle von der Kollimatoroberfläche zum Fokus stark zu, erreicht dort ein Maximum und sinkt dann wieder ab. Befindet sich die Punktquelle in einem absorbierenden Medium, so verschiebt sich das Aktivitätsmaximum zum Kollimator hin. Die Empfindlichkeit für eine flächenhafte Quelle hängt bei fehlender Absorption nicht von der Entfernung von Quelle und Kollimator ab. Da die Schilddrüse oberflächennahe gelegen ist, spielt bei der Strahlung des ^{131}J die Absorption keine grose Rolle. Bei dem verwendeten Kollimator bestand im Bereich der Fokusentfernung ebenfalls für einen Tiefenbereich von 2 bis 3 cm eine relative Konstanz der Empfindlichkeit für eine Punktquelle, so daß auch die zweite Vorbedingung für die Durchführung der quantitativen Szintigraphie erfüllt war.

Die hier vorgelegten Untersuchungen sollten folgende Fragen beantworten:

1. Läßt sich mit dem vorhandenen Szintigraphiesystem die Aktivität in der Schilddrüse quantitativ erfassen?
2. Bestehen Abhängigkeiten der Meßergebnisse von der Scangeschwindigkeit, der Dicke des Organs, etc.?
3. Welchen Einfluß hat die Absorption durch überlagernde Gewebsschichten?
4. Inwieweit lassen sich einzelne Areale der Schilddrüse quantitativ miteinander vergleichen und welches ist die unterste Grenze für solche Areale?

Meßmethodik

Die Untersuchungen wurden an einem kommerziellen Szintigraphen der Firma Picker (Magnascanner V) (Abb. 1) durchgeführt. Dieses Gerät ist mit einem 5 mal 2 Zoll Szintillationsdetektor versehen, dessen Abtastgeschwindigkeit stufenlos zwischen 0 und 120 cm/min regelbar ist. Der Scanner ist ferner mit den üblichen elektronischen Versorgungseinheiten, wie Hochspannungseinheit, Linearverstärker, Impulshöhenanalysator und Ratemetereinschub ausgestattet. Als Registriereinheiten sind Photo- und Styloregistrierung vorhanden. Alle Untersuchungen erfolgten mit Hilfe des Kollimators 2111 A, der für die Schilddrüsenuntersuchungen mit ^{131}J verwendet wird.

Über ein Interface-Gerät war der Scanner mit einem digitalen Speichergerät der Firma Intertechnique (Bloc d'Exploitation BM 96) verbunden.

Das Sichtgerät dieser Einheit (Unit de Visualisation RG 96) machte es möglich, die im Magnetkernspeicher enthaltenen Szintigramme sichtbar zu machen und mit einer Polaroid Kamera zu fotografieren.

Die Szintigramme wurden bei dem Speichervorgang in ein Raster von $64 \times 64 = 4096$ Punkte unterteilt, wobei je nach der Geschwindigkeit des Abtastvorganges die Impulse über eine bestimmte Wegstrecke akkumuliert und dann in einem Speicherplatz gespeichert wurden.

Die Impulszahlen aller 4096 Speicherplätze konnten mit Hilfe eines schnellen Druckers ausgedruckt werden. Die numerische Auswertung der Szintigramme erfolgte dadurch, daß die ausgedruckten Werte für die Speicherplätze innerhalb der Szintigramme summiert wurden. Dabei wurde jeweils der Background als Mittelwert von Meßpunkten außerhalb des Szintigramms abgezogen.

Daneben wurden alle Szintigramme mittels des im Routinebetrieb verwendeten Styloschreibsystems analog aufgezeichnet.

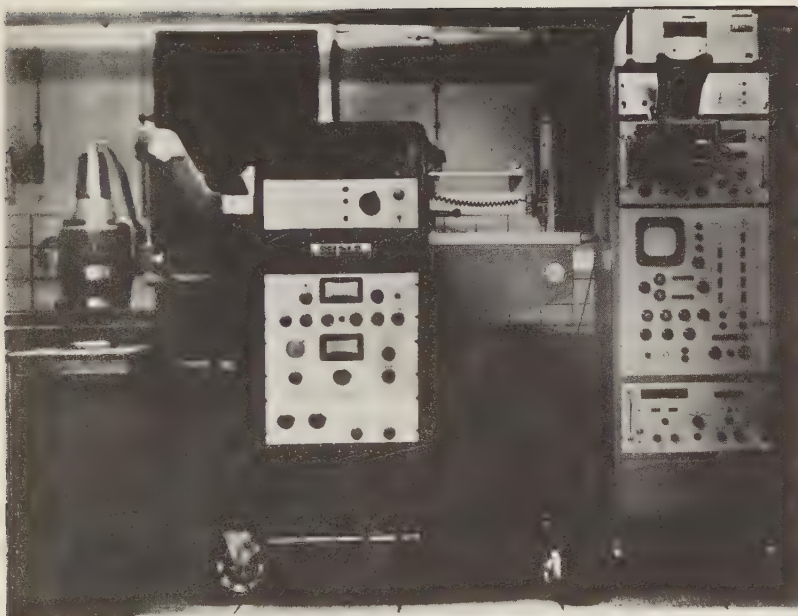


Abbildung 1

Meßanordnung mit (von links nach rechts)
Schilddrüsenphantom, Szintigraph und
Speicherplatz mit Zusatzgeräten.

Die Bestimmung der Gesamtaktivität der Quellen wurde mit dem handelsüblichen Uptakestand der Firma Picker (Spectroscaler II A) vorgenommen. Dabei wurde der beim Radiojodtest benutzte Abstand von 30 cm eingehalten, da für diese Entfernung eine Eichung der Anlage in uCi vorlag.

Da zur Durchführung der Untersuchung die Aufnahme eines ^{131}J -Spektrums notwendig war, wurde an dem verwendeten Magnascanner V ein solches Spektrum mit Hilfe eines nachgeschalteten Magnascalers III ausgemessen. Zu diesem Zweck wurde der Kollimator aus dem Detektorkopf entfernt und mit Hilfe des eingebauten Impulshöhenanalysators das Spektrum in Schritten von 10 keV durchgemessen. Alle Untersuchungen zur quantitativen Szintigraphie erfolgten im Photopeak des ^{131}J .

Die Versuche wurden unter Verwendung von zwei verschiedenen Quellen durchgeführt, einmal mit einer Rundquelle in Form eines Becherglases mit einem inneren Durchmesser von 4,4 cm, zum anderen mit einem Schilddrüsenphantom (3602 Thyroid Phantom) (Abb. 2).

Die Quellen enthielten eine Aktivität von etwa 30 bis 50 uCi.

Dieses Phantom bestand aus zwei verschieden dicken Lappen, in denen sich insgesamt drei kalte und ein warmer Knoten befanden. Die kalten Knoten wurden durch Plexiglaszylinder dargestellt, die Aussparungen in der radioaktiven Flüssigkeit bildeten, die das Phantom ausfüllte. Der warme Knoten wurde durch eine mit radioaktiver Flüssigkeit gefüllte zylindrische Vertiefung gebildet.

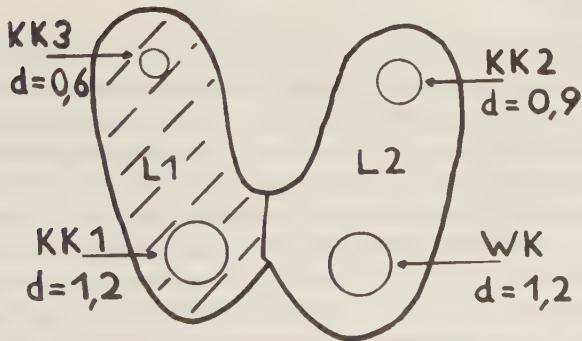


Abbildung 2

Schilddrüsenphantom

Symbole: KK_1 bis KK_3 = kalte Knoten
unterschiedlicher Größe

WK = warmer Knoten

Meßergebnisse

Zur Untersuchung einer Reihe von Abhängigkeiten wurde zunächst eine Anzahl von Versuchen mit Hilfe der Rundquelle durchgeführt. Die Aktivität wurde an dem Uptakestand bestimmt und dann bei konstanter Aktivität der Quelle digitale Szintigramme in 4, 8, 12, 16 und 20 cm Abstand durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Meßreihe sind in Abbildung 3 wiedergegeben (Tabelle 1), dabei ist die Abhängigkeit der gemessenen Impulszahlen von der Scangeschwindigkeit aufgetragen. Die Kurven für die verschiedenen Abstände liegen dicht beieinander, so daß die Abhängigkeit von der Entfernung, wie theoretisch zu erwarten, gering ist.

Es ist auffällig, daß die Kurve für die exakte Fokusentfernung (12 cm) stets die kleinste Impulszahl liefert.

Für die Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ergibt sich eine Hyperbel.

Eine zweite Meßreihe sollte Aufschlüsse über die Abhängigkeit der Untersuchungsergebnisse von Schichtdicken der Quelle bringen. Zu diesem Zweck wurde die Rundquelle in einen konstanten Abstand von 12 cm gebracht, und die Schichtdicke bei konstanter Aktivität in Schritten von 1 cm auf die Stärke von insgesamt 6 cm vergrößert. Aufgrund der ersten Meßreihe wurden die folgenden Messungen nur noch in einem Geschwindigkeitsbereich von 8 bis 24 cm/min. vorgenommen. Die Ergebnisse (Abb. 4) (Tabelle 2) zeigen eine relativ geringe Abhängigkeit der Impulszahlen von der Schichtdicke, wobei kein Gang mit zunehmender Schichtdicke festzustellen ist.

Eine dritte Meßreihe diente unter Verwendung der Rundquelle der Untersuchung des Einflusses absorbierender Schichten oberhalb der Quelle. Zu diesem Zweck wurden Messungen mit Wachsabdeckungen von 1 bis 3 cm Stärke vorgenommen (Tabelle 3). Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Abbildung 5 zusammengefaßt.

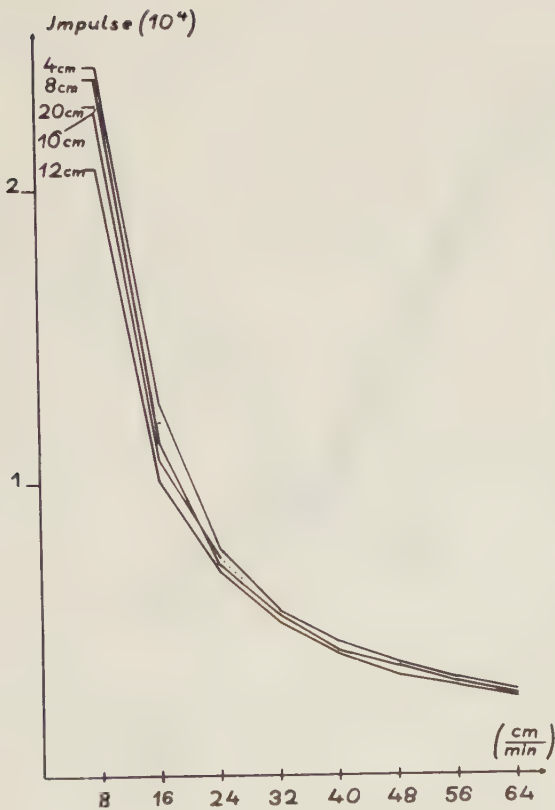


Abbildung 3

Darstellung der Abhängigkeit der Impuls-
summe von der Scangeschwindigkeit bei
unterschiedlicher Objektentfernung.
Auf der Ordinate ist die gemessene Impuls-
summe, auf der Abszisse die Scan-
geschwindigkeit aufgetragen.

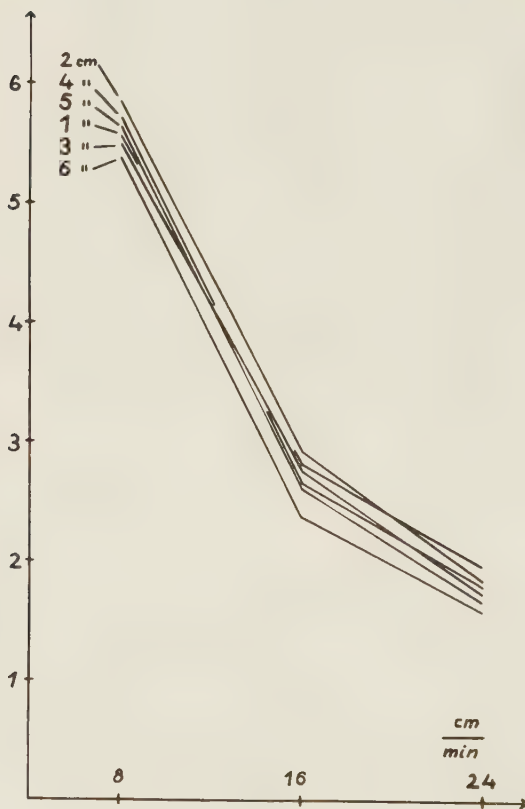


Abbildung 4 Darstellung der Abhängigkeit der Impuls-
summe von der Scangeschwindigkeit bei
unterschiedlicher Schichtdicke der Quelle.
Auf der Ordinate ist die gemessene Impuls-
summe, auf der Abszisse die Scangeschwindig-
keit aufgetragen.

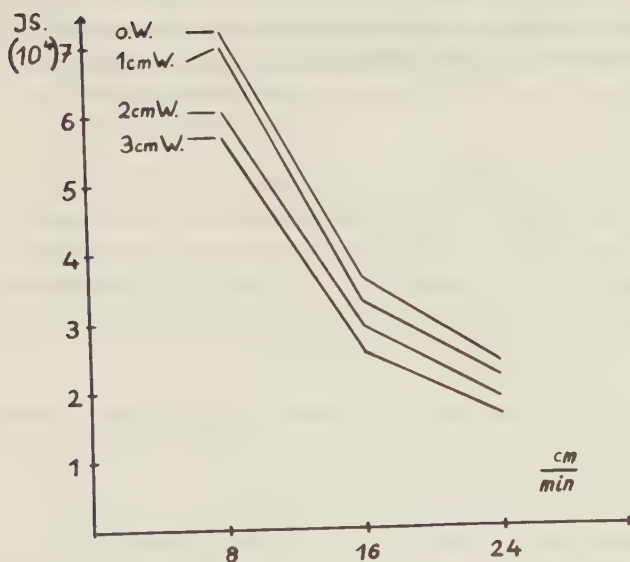


Abbildung 5

Darstellung der Abhängigkeit der Impulssumme von der Scangeschwindigkeit bei Zunahme einer absorbierenden Wachsschicht. Auf der Ordinate ist die gemessene Impulssumme, auf der Abszisse die Scangeschwindigkeit aufgetragen.

Die weiteren Messungen wurden mit dem Schilddrüsenphantom der Firma Picker (Nr. 3602) durchgeführt. Zunächst wurde hier der Rauminhalt des Phantoms, seiner beiden Lappen (L_1 und L_2) und seiner kalten und warmen Knoten bestimmt. Das Gesamtvolumen des Phantoms und das seiner Lappen wurde durch Füllung mit Aqua dest. und Wägung gemessen. Die Volumina der zylindrischen Knoten wurden aus Höhe und Durchmesser bestimmt (Tab. 6). Das durch diese Messungen für die beabsichtigten Versuche in seinen Eigenschaften genügend charakterisierte Phantom wurde nun in drei Meßgeschwindigkeiten mit dem Szintigraphen durchgemessen (Tab. 4).

Die Szintigraphie des Phantoms wurde mit 1 und 2 cm Wachsabdeckung wiederholt, um eine Weichteildeckung zu simulieren (Tabelle 4). Außerdem wurden als Vergleichswert Gesamtaktivitätsmessungen von L_1 und L_2 am Uptakestand vorgenommen (Tab. 5). Hierbei war jeweils ein Lappen mit 3 cm starkem Blei abgedeckt.

Die Gesamtaktivitätsmessung wurde ebenfalls mit einer Wachsabdeckung durchgeführt.

Die Bestimmung der Gesamtaktivität des Phantoms aus den Szintigrammen wurde wiederum so vorgenommen, daß ein genügend großes Feld um das Bild herum ausgezählt wurde und davon der Background abgezogen wurde (Tab. 4). In ähnlicher Weise wurde bei der Bestimmung der Aktivität der Knoten vorgegangen (Tab. 8). Bei der Bestimmung der Aktivität der einzelnen Knoten in den Szintigrammen wurde zunächst ein Mittelwert der homogen speichernden Umgebung errechnet. Dies war bei diesem Phantom deswegen möglich, da die Knoten sich in einem konstanten Aktivitätsplateau befanden.

Die warmen Knoten wurden ausgezählt, indem in jeder Zeile graphisch dargestellt und der signifikant über den Mittelwert hinausgehende Impulsratenbereich ausgezählt wurde.

Bei der Auswertung der kalten Knoten ergaben sich größere Schwierigkeiten, da sich bei den niedrigen Impulsraten stärkere statistische Schwankungen ergeben als bei hohen. Zudem werden durch die Abbildungseigenschaften des Kollimators alle Aktivitätssprünge im Meßergebnis abgeflacht. Es wurde daher so vorgegangen, daß von den Aktivitätsmaxima von beiden Seiten des kalten Knotens ausgegangen wurde und das dazwischenliegende Aktivitätstal als Knoten ausgezählt wurde. Von den Meßergebnissen wurde wiederum die der Zahl der Meßpunkte entsprechende Summe des Background-Mittelwertes abgezogen.

Tabelle 1

Zusammenfassung der szintigraphischen Messungen einer ungleichmäßig bei zunehmender Objektentfernung und Meßgeschwindigkeit.

Meßgeschwindigkeit (cm/min)	Impulssumme				
	8	4	2	12	16
8	24117	23773	20795	22698	22915
16	12719	11428	10093	10850	11936
24	7710	7103	6985	7342	7602
32	5540	5416	5254	5244	5616
40	4485	4160	4091	4181	4547
48	3683	3710	3413	3386	3554
56	3190	3117	3007	2959	3186
64	2779	2715	2626	2539	2839

Tabelle 2

Szintigraphische Messungen einer Rundquelle im Fokusabstand (12 cm) bei Zunahme der Schichtdicke der Quelle.

Kefgeschwindigkeit (cm/min)	Impulsezahl				
	Schichtdicke der Quelle (cm)				
	1	2	3	4	5
8	55753	58681	55436	56245	56210
16	27738	29168	27357	26660	26159
24	19346	18312	17228	17466	16516
					54058
					23820
					15853

Tabelle 3

Szintigraphische Messungen einer Rundquelle in Fokusabstand bei Zunahme einer Wachsabdeckung.

Meßgeschw. cm/min	Impulssumme			
	Wachsschicht (cm)			
	0	1	2	3
8	72172	70006	60619	56880
16	35599	32441	29193	25250
24	23309	21674	18613	16120

Tabelle 4

Szintigraphische Messungen eines Schilddrüsenphantoms mit Auswertung der Aktivität der Lappen. Unter Q_L erscheint ein Quotient aus den Impulssummen von Lappen 1 (L_1) und Lappen 2 (L_2).

Meßgeschw. cm/min	Impulssumme		
	Lappen 1	Lappen 2	Lappen1/Lappen2(Q_L)
ohne Wachsabdeckung			
8	35942	25561	1,4
16	15765	11004	1,4
24	10836	7350	1,4
mit 1 cm Wachsabdeckung			
8	31406	25141	1,3
16	15167	11534	1,3
24	9997	7233	1,4
mit 2 cm Wachsabdeckung			
8	29531	21281	1,4
16	13919	11534	1,3
24	10044	6958	1,4

Tabelle 5

Gesamtaktivitätsmessung des Schilddrüsenphantoms und seiner Lappen L₁ und L₂ bei entsprechender Bleiabdeckung auf dem Uptakestand mit und ohne Wachsabdeckung.

Messung mit 39 uCi.

	0	1	2	3 Wachsabdeckung(cm)
	Impulse/Minute			
Gesamtphantom	54106	50437	46637	42799
L ₁	30359	28476	26405	24414
L ₂	22735	21326	19786	18206
$\epsilon_L(L_1/L_2)$	1,3	1,3	1,3	1,3

Tabellen 6

Ausmessen des Schilddrüsenphantoms auf seine Volumina und Berechnung der Aktivität der Knoten mit Hilfe der Gesamtaktivitätsmessungen aus Tabelle 5.

Tabelle 6 a : Ohne Wachsabdeckung.

	Impulse			
	Volumen	IS(Imp/min)	IS/ml	IS(Imp/min)
Lappen 2 (L2)	16,4 ml	22735	1386	
Lappen 1 (L1)	24,3 ml	30359	1250	
Warmer Knoten (WK)	1,08 ml			1350
Kalter Knoten 1 (KK1)	2,15 ml			2688
" "	2 (KK2) 0,57 ml			790
" "	3 (KK3) 0,54 ml			675
Phantom	40,7 ml	54106		

Tabelle 6 b : Mit 1cm Wachsabdeckung

	Volumen	IS	IS/ml	IS
L2	16,4 ml	21326 Imp/min	1300	
L2	24,3 ml	28476 "	1172	
WK	1,08 ml			1260
KK1	2,15 ml			2500
KK2	0,57 ml			740
KK3	0,54 ml			630

Tabelle 6 c : Mit 2cm Wachsabdeckung

	Volumen	IS	IS/ml	IS
L2	16,4 ml	19786 Imp/min	1206	
L2	24,3 ml	26405 "	1087	
WK	1,08 ml			1180
KK1	2,15 ml			2350
KK2	0,57 ml			690
KK3	0,54 ml			590

Tabelle 7

Aufstellung der Quotienten, die aus den Impulssummen der Gesamtaktivitätsmessungen und der Szintigramme der einzelnen Lappen gebildet wurden.

Meßgeschwindigkeit cm/min	Lappen 1 Q_1	Lappen 2 Q_2
ohne Wachsabdeckung		
8	0,8	0,9
16	1,9	2,1
24	2,8	3,1
mit 1 cm Wachsabdeckung		
8	0,9	0,9
16	1,9	1,9
24	2,9	3,0
mit 2 cm Wachsabdeckung		
8	0,9	0,9
16	1,9	1,7
24	2,6	2,8

Tabelle 8

Aufstellung der Impulssummen der Knoten, die jeweils aus den Szintigrammen bestimmt wurden (IS) und durch Berechnung aus der Gesamtaktivität des Phantoms ermittelt wurden (ISe). Gegenüberstellung der Quotienten der Impulssummen jedes Knotens (IS) zu den entsprechenden Quotienten der Impulssummen der Lappen (Q) aus Tabelle 7. Zunahme der absorbierenden Wachsschicht.

Symbole: KK_1 = größter kalter Knoten in Lappen 1

KK_3 = kleinster kalter Knoten in Lappen 1

KK_2 = mittlerer kalter Knoten in Lappen 2

WK = warmer Knoten in Lappen 2

Knoten	IS	ISe	Q	QIS	Reißgeschw. (cm/min)
ohne Wachsabdeckung					
KK_1	2005	2688	0,8	1,3	8
KK_3	328	675	0,8	2,0	8
KK_2	610	790	0,9	1,3	8
WK	1792	1350	0,9	0,8	8
KK_1	1098	2688	1,9	2,2	16
KK_3	120	675	1,9	5,6	16
KK_2	423	790	2,1	3,8	16
WK	632	1350	2,1	2,1	16
KK_1	802	2688	2,8	3,1	24
KK_3	157	675	2,8	4,3	24
KK_2	243	790	3,1	3,2	24
WK	426	1350	3,1	3,1	24
mit 1 cm Wachsabdeckung					
KK_1	2143	2500	0,9	1,1	8
KK_3	328	630	0,9	1,9	8
KK_2	556	740	0,9	1,3	8
WK	1332	1250	0,9	0,9	8
KK_1	1037	2500	1,9	2,4	16
KK_2	395	630	1,9	1,9	16
WK	797	1250	1,9	1,6	16

Fortsetzung Tabelle 8

Knoten	IS	ISe	Q	QIS	Meßgeschw. (cm/min)
Weiter mit 1 cm Wachsabdeckung					
KK ₁	775	2500	2,9	3,2	24
KK ₂	216	740	3,0	3,4	24
WK	356	1250	3,0	3,5	24
mit 2 cm Wachsabdeckung					
KK ₁	1753	2350	0,9	1,4	8
WK	1291	1180	0,9	0,9	8
KK ₁	853	2350	1,9	2,8	16
WK	915	1180	1,7	1,3	16
KK ₁	350	2350	2,6	6,7	24
WK	397	1180	2,8	3,0	24

Diskussion

In der Meßreihe I wurde untersucht, wie sich die Impulssummen bei verschiedener Entfernung der Quellenoberfläche von der Kollimatoroberfläche verändern. Gleichzeitig ist der Einfluß der Abtastgeschwindigkeit auf die Meßergebnisse mit überprüft worden (Tabelle 1).

In Abbildung 3 sieht man, daß die Werte der Meßgeschwindigkeiten von 32 bis einschließlich 64 cm/min sich für alle Entfernungen stark annähern. Deshalb erscheinen allein Meßgeschwindigkeiten von 8 bis höchstens 24 cm/min für quantitative Szintigramme ausreichend.

In Abbildung 3 erkennt man außerdem eine hyperbolische Abhängigkeit der Impulssumme von der Meßgeschwindigkeit. Dies läßt sich auch theoretisch wie folgt ableiten:

$$V \text{ (Geschwindigkeit)} = \frac{\text{Gesamtmeßweg}}{\text{Gesamtmeßzeit (T)}}$$

Der Gesamtmeßweg bleibt konstant.

Bei unveränderter Intensität der Strahlung ist die Impulssumme (IS) der Gesamtmeßzeit (T) proportional.

$$V = \frac{1}{IS} \quad k$$

Abbildung 3 zeigt ferner, daß die Meßwerte bei Entfernung aus der Fokusebene zunehmen, wobei kein eindeutiger Gang mit der Schichtdicke vorhanden ist.

Eine Erklärung für dieses Phänomen ergibt sich aus der Tatsache, daß zwar einerseits die Empfindlichkeit des Detektor-Kollimator-Systems für eine Punktquelle im Fokus am größten ist, andererseits aber mit zunehmender Schichtdicke die Absorption der Strahlung aus den unteren Anteilen des Phantoms eine gewisse Rolle spielt.

Dies tritt besonders bei Schreibgeschwindigkeiten von 8 und 16 cm/min auf.

In der Meßreihe II (Tabelle 2, Abb. 4) wurde ein Abstand von 12 cm gleich Fokusabstand zur Oberfläche der Quelle eingehalten und jede Meßserie nur noch mit 3 Schreibgeschwindigkeiten (8, 16 und 24 cm/min) durchgeführt. Bei der Schichtdickenzunahme zeigte sich eine Abnahme der Impulssummen. Eine Erklärung für dieses Phänomen ergibt sich aus der Tatsache, daß die Empfindlichkeit des Detektor-Kollimator-Systems für eine Punktquelle im Fokus am größten ist. Bei zunehmender Schichtdicke spielt außerdem eine Absorption der Strahlung aus den unteren Anteilen des Phantoms eine gewisse Rolle.

In der Meßreihe III (Tabelle 3) wurde die Abhängigkeit der Impulssumme von der Dicke einer absorbierenden Wachs-schicht untersucht. Es zeigte sich die zu erwartende Abnahme der Impulszahlen bei zunehmender Wachsabdeckung (Abb. 5).

In der Meßreihe IV wurde statt der Rundquelle ein Schilddrüsenphantom mit und ohne Wachsabdeckung durchgemessen (Tabelle 4).

Bei der Auswertung wurden zuerst die Impulssummen der Lappen gesondert bestimmt, wobei der Aktivitätssprung am Isthmus des Phantoms es ermöglichte, eine Grenze zwischen Lappen 1 (L_1) und Lappen 2 (L_2) zu ziehen.

Bei der Messung der Gesamtaktivität war eine Teilung des Phantoms durch Abdeckung jeweils eines Lappens mit 3 cm starken Bleiplatten durchgeführt worden (Tab. 5).

Aus den Werten für L_1 und L_2 konnte nun für jede Messung ein Quotient ($Q_L = L_1/L_2$) gebildet werden (Tab. 4).

Q_L macht es trotz unterschiedlicher Meßmethodik möglich zu prüfen, ob mit der Szintigraphie mit genügender Genauigkeit beide Lappen gegeneinander abgegrenzt werden können.

Der Quotient der Gesamtaktivitätsmessung stimmt fast genau mit den aus den Szintigrammen ermittelten Quotienten überein. Auffällig ist dabei auch die geringe Variationsbreite von Q_L in der Tabelle 16, 17 und 18.

Die Ergebnisse zeigen, daß unter den vorliegenden Bedingungen eine quantitative Aktivitätsbestimmung in beiden Lappen des Phantoms mit Hilfe der Szintigraphie möglich ist.

Aus den Szintigrammen des Phantoms wurde ferner die Aktivität der kalten und warmen Knoten bestimmt (Tab. 8). Mit Hilfe der Volumina der Knoten wurde aus der Gesamtaktivität der Lappen die Teilaktivität der Knoten errechnet (Tab. 8). In der gleichen Weise wie für jeden Lappen lagen nun für jeden Knoten zwei Meßwerte fest. Da die quantitative Aktivitätsbestimmung der beiden Lappen unter den hier vorliegenden Bedingungen möglich war, sollte dasselbe für die Knoten nachgeprüft werden. Hierzu wurde das Verhältnis aus den Impulssummen der Gesamtaktivitätsmessung jedes Lappens mit den entsprechenden Impulssummen gebildet, die durch Auswertung der Szintigramme für die Lappen bestimmt wurden. In gleicher Weise werden die beiden Impulszahlen der einzelnen Knoten zueinander ins Verhältnis gesetzt.

Die Quotienten aus den Impulszahlen der Lappen sind wie folgt definiert:

$$Q_1 = \frac{L_{1g} \text{ (IS Gesamtaktivitätsmessung)}}{L_{1s} \text{ (IS Szintigramm)}}$$
$$Q_2 = \frac{L_{2g} \text{ (IS Gesamtaktivitätsmessung)}}{L_{2s} \text{ (IS Szintigramm)}}$$

Da L_{1g} und L_{2g} für eine gleiche Meßanordnung konstant sind, müssen durch das variable L_{1s} und L_{2s} die Quotienten Q_1 und Q_2 für jede Messung unterschiedlich sein (Tab. 7).

Bei der Tabelle 8 ist zu beachten, daß sich Q_1 auf den Lappen L_1 bezieht, in dem die beiden kalten Knoten KK_1 und KK_3 liegen, während Q_2 sich auf den Lappen L_2 bezieht, in dem sich der kalte Knoten KK_2 und der warme Knoten WK befinden.

In der Tabelle 8 sind die Quotienten aus Tabelle 7 den entsprechenden Quotienten aus den einzelnen Knoten gegenübergestellt.

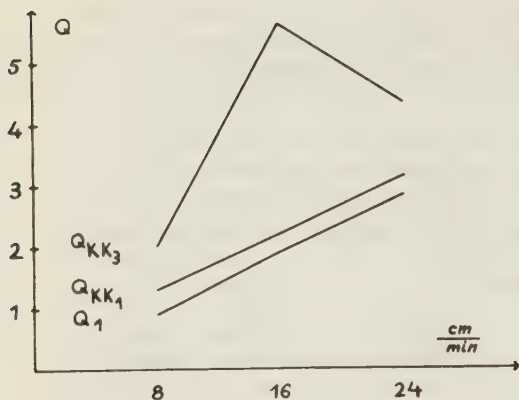
Die Ergebnisse der Untersuchungen sind sowohl in der Tabelle 8 als auch in den Abbildungen 6 bis 8 dargestellt. Am einfachsten lassen sich die Verhältnisse an Hand der Diagramme ablesen.

Ohne Absorption ergibt sich für den kalten Knoten KK_1 ein Quotient, der parallel zum Quotienten Q_1 läuft, während der Quotient für den Knoten KK_3 bereits einen irregulären Verlauf aufweist (Abb. 6 a). Dies deutet darauf hin, daß die quantitative Aktivitätsbestimmung unter den gegebenen Bedingungen für den kleinsten der kalten Knoten nicht möglich ist.

Im Lappen L_2 ergeben sich für Q_2 , für den Quotienten des warmen Knotens WK und den Quotienten des kalten Knotens KK_2 fast identische Kurven (Abb. 6 b).

Bei der Absorption der Strahlung durch 1 cm Wachs zeigen sich für die kalten Knoten KK_1 und KK_2 und für den warmen Knoten WK Kurven, die noch gut parallel zu den Kurven der Quotienten Q_1 beziehungsweise Q_2 verlaufen (Abb. 7 a, b).

Bei 2 cm Absorptionsschichtdicke erhält man nur noch für den warmen Knoten WK eine gute Korrelation zu Q_2 (Abb. 8 a, b).



Symbole:

Q_{KK1} : Q kalter Knoten 1

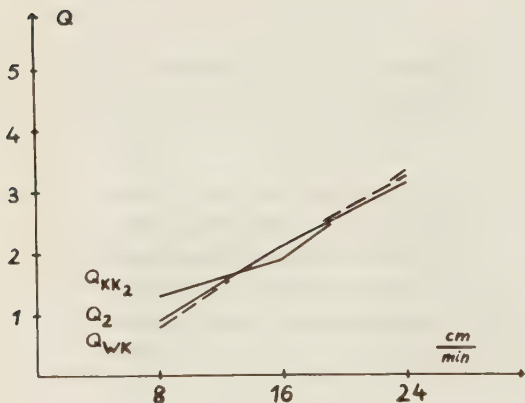
Q_{KK2} : Q kalter Knoten 2

Q_{KK3} : Q kalter Knoten 3

Q_{WK} : Q warmer Knoten

Q_1 : Q Lappen 1

Q_2 : Q Lappen 2

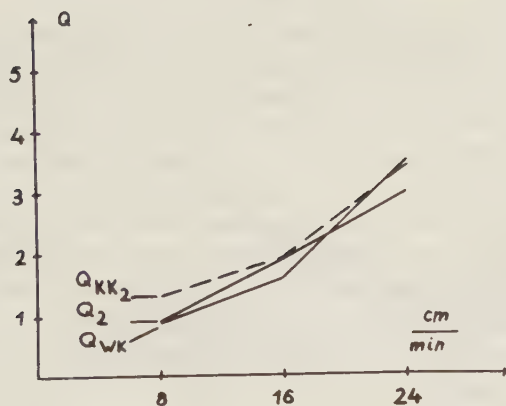
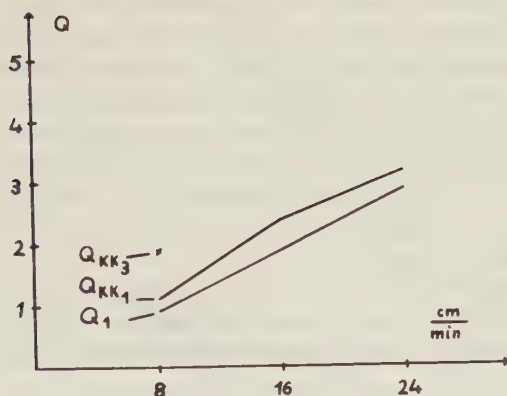


Abbildungen 6a

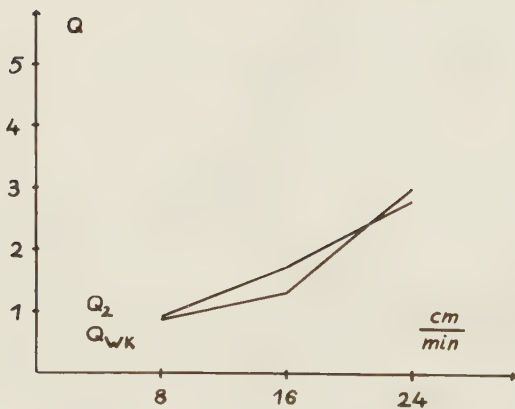
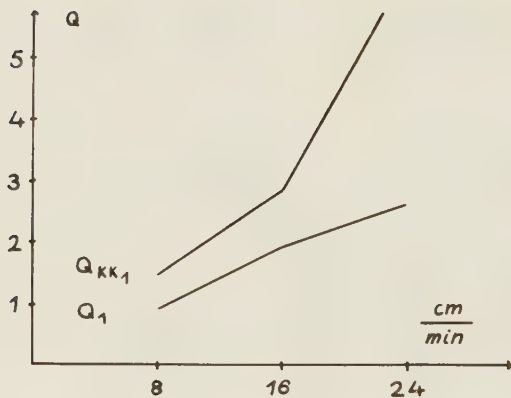
6b

Vergleichende Darstellung der Quotienten, die aus dem Verhältnis der Impulssumme der Gesamtaktivitätsmessung jedes Lappens mit der durch Auswertung der Szintigramme der Lappen erzielten Impulssumme gebildet wurden mit jenen Quotienten, die analog aus dem Verhältnis der für die einzelnen Knoten erzielten Impulssummen errechnet wurden. Auf der Ordinate ist der Zahlenwert von Q und auf der Abszisse die Scangeschwindigkeit aufgetragen.

Messungen für Abb. 6 ohne absorbierende Wachsschicht.



Abbildungen 7a Vergleichende Darstellung der Quotienten
 7b wie in Abbildung 6 . Die Messungen wurden
 hier mit einer absorbierenden Wachsschicht
 von 1 cm Stärke durchgeführt.
 Symbole wie in Abb. 6



Abbildungen 8a Vergleichende Darstellung der Quotienten
 8b wie in Abbildung 6 . Die Messungen wurden
 hier mit einer absorbierenden Wachsschicht
 von 2 cm Stärke durchgeführt.
 Symbole wie in Abb. 6

Aus diesem Ergebnis kann man entnehmen, daß die quantitative Aktivitätsbestimmung des warmen Knotens auch bei einer Absorption durch 2 cm Wachs gut möglich ist, während die kalten Knoten KK_1 und KK_2 noch bei Absorption durch 1 cm Wachs bestimmbar sind. Der kalte Knoten KK_3 liegt mit seinem Durchmesser von 0,58 cm an der Grenze des Auflösungsvermögens des Kollimators, so daß leicht einzusehen ist, daß er mit diesem Detektor-Kollimator-System nicht quantitativ zu bestimmen ist.

Ebenso ist verständlich, daß sich warme Knoten besser als kalte Knoten nachweisen lassen, weil im allgemeinen positive Aktivitätsspeicherung leichter aufzudecken ist als Bereiche verminderter Akkumulation.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der vorgelegten Arbeit zeigen, daß unter den vorliegenden Bedingungen die quantitative Aktivitätsbestimmung in der Schilddrüse mit Hilfe der Szintigraphie möglich ist. Dabei kann die Aktivität der beiden Lappen getrennt erfaßt werden.

Ebenso können kalte Knoten bis zu einem Durchmesser von 0,9 cm und bei einer absorbierenden Wachsschicht von bis zu 1 cm quantitativ erfaßt werden. Warme Bezirke können darüber hinaus auch bei einer dickeren Wachsschicht (bis zu 2 cm) erfaßt werden.

Zusammenfassung

Ziel der hier vorgelegten Arbeit war es zu untersuchen, ob es mit Hilfe der Szintigraphie möglich ist (dem sog. Area Scanning), die in einem oberflächennahen Organ wie der Schilddrüse gespeicherte Radioaktivität quantitativ zu erfassen. Zu diesem Zweck wurden Phantomuntersuchungen vorgenommen, in denen im Vergleich zu integralen Aktivitätsbestimmungen die Abhängigkeit der Meßwerte bei der Szintigraphie vom Abstand zum Organ, von der Geschwindigkeit des Scannings, sowie die Absorption der Strahlen durch Gewebsschichten untersucht wurden.

Desgleichen wurde in weiteren Meßreihen geprüft, wie weit sich die Aktivität in beiden Lappen des Organs getrennt erfassen läßt und schließlich, ob sich kleine Bezirke vermehrter oder verminderter Speicherung innerhalb des Organs (sog. kalte oder warme Knoten) quantitativ nachweisen lassen.

Die Ergebnisse der Messungen zeigen, daß sich mit Hilfe der Szintigraphie bei Einhaltung gewisser Standardbedingungen der Aktivitätsgehalt der Schilddrüse und ihrer beiden Lappen getrennt quantitativ bestimmen läßt. Für die kalten Knoten ergibt sich eine untere Nachweisgrenze von 0,9 cm, die sich mit zunehmender Absorption durch überlagernde Gewebsteile verschlechtert. Diese Grenze betrug bei 1 cm absorbierender Gewebsschicht noch 0,9 cm und bei 2 cm Gewebsschicht ließ sich keiner der kalten Knoten mehr quantitativ erfassen.

Dagegen konnte der warme Knoten auch bei Absorption durch 2 cm Wachs noch gut quantitativ bestimmt werden.

Literatur

1. ARIMIZU, N., KAKEHI, H., MORRIS JR., A. S.
Area scanning for quantitative measurement of radio-activity in internal organs
Medical Radioisotope Scintigraphy Vol. I.
IAEA Vienna 1969, S. 653 - 663
2. BROWNELL, G. L.
Theory of isotope scanning
Medical Radioisotope Scanning
IAEA Vienna 1959, S. 1 - 12
3. BROWNELL, G. L.
Theory of radioisotope scanning
Medical Radioisotope Scanning Vol. I.
IAEA Vienna 1964, S. 3 - 34
4. GLASS, H. I.
Measurement of radioisotope uptake in body organs by area scanning
Measurement of Radioactivity in Body Organs
IAEA - 231, Technical Report Vienna 1971, S. 54 - 65
5. LUKEY, J.
Bestimmung von Kollimatorkenngrößen
Inaugural-Diss. Mainz 1970
6. MEINIG, G.
Kollimatorvergleich nach der Methode von G. J. Hine und H. Vetter
Inaugural-Diss. Mainz 1968
7. TAUXE, W. N.
Estimation of thyroid uptake of ^{131}J from digitized scintiscan matrices
J. nucl. Med. 10 (1969), 258 - 260

Herrn Professor Dr. Rudolf W o l f danke ich
für die Überlassung des Themas und für die freund-
liche Unterstützung bei meiner Arbeit.

Herrn Professor Dr. Lothar D i e t h e l m
bin ich für die Übernahme des Korreferates und
für die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes in
seinem Institut zu Dank verpflichtet.

Lebenslauf

28. 6. 1942	geboren in Glärsersdorf/Schlesien als Kind des Polizeibeamten Max Walde und seiner Ehefrau Hilde, geb. Töpfer
1948 - 1952	Besuch der Volksschule in Bomlitz/ Niedersachsen
1952 - 1962	Besuch des Gymnasiums in Walsrode/ Niedersachsen
Februar 1962	Reifeprüfung
April 1962 - Juli 1969	Studium der Medizin an der Johan- nes Gutenberg Universität Mainz
30. 3. 1968	Eheschließung mit Gabriele Wolpers
9. 9. 1968	Geburt eines Sohnes
4. 7. 1969	Ärztliches Staatsexamen an der Universität Mainz
1. 11. 1969 - 31. 12. 1969	Tätigkeit in der Allgemeinpraxis als Medizinalassistent
1. 1. 1970 - 30. 4. 1970	Chirurgische Pflichtzeit als Medizinalassistent
1. 7. 1970 - 31. 10. 1970	Internistische Pflichtzeit als Medizinalassistent
1. 11. 1970 - 30. 4. 1971	Tätigkeit in einer orthopädischen Praxis
31. 12. 1970	Ärztliche Approbation
Seit 16. 6. 1971	Verwalter einer wiss. Assistenten- stelle in der II. Medizinischen Universitätsklinik

